

**PENENTUAN PARAMETER DOMINAN RETENSI
SURFAKTAN DI BATUAN SANDSTONE MENGGUNAKAN
METODE C4.5 ALGORITHM PADA SIMULATOR WEKA**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh
ATIKA IRFIANA
NPM 153210229



PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2020

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh :

Nama : Atika Irfiana

NPM : 153210229

Program Studi : Teknik Perminyakan

Judul Skripsi : Penentuan Parameter Dominan Retensi Surfaktan Di Batuan *Sandstone* Menggunakan Metode *C4.5 Algorithm* Pada Simulator Weka

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Fiki Hidayat, ST., M.Eng (.....^{KM}.....)

Penguji I : Tomi Erfando, ST., MT (.....^{TE}.....)

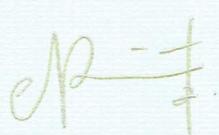
Penguji II : Novia Rita, ST., MT (.....^{NR}.....)

Ditetapkan di : Pekanbaru

Tanggal : 10 Juli 2020

Disahkan Oleh:

**KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN**


NOVIA RITA, ST., MT

**DOSEN PEMBIMBING
TUGAS AKHIR**


FIKI HIDAYAT, ST., M.Eng

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum didalamnya baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar sesuai ketentuan. Jika terdapat unsur penipuan atau pemalsuan data maka saya bersedia dicabut gelar yang telah saya peroleh.

Pekanbaru, 6 Juli 2020




Atika Irfiana

153210229



KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Islam Riau. Saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Oleh sebab itu saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, papa Irwan, mama Harmia, adik Iqbal Hardi dan adik Andien Alifah Novarian, yang selalu memberikan dukungan material, dukungan moral dan doa yang senantiasa mengiringi
2. Bapak Fiki Hidayat, S.T, M.Eng selaku dosen pembimbing, yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberi masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak H.Ali Musnal, S.T.,M.T selaku pembimbing akademik yang telah memberi arahan dan nasihat selama menjalani perkuliahan di Teknik Perminyakan
4. Ketua dan sekretaris prodi serta dosen-dosen yang sangat banyak membantu terkait perkuliahan dan ilmu pengetahuan
5. Laboratorium teknik perminyakan, terutama laboratorium simulasi reservoir
6. Sahabat terbaik saya Michael, Bella, Dessy, Vivi, Anggya, Khodirin, Rofiq, Sri, Ridho, Venny, Harry, Mulyadi, Riat, Shandi, Sindi, PETRONASS dan teman-teman seperjuangan lainnya di kampus yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Teriring do'a semoga Allah SWT memberikan balasan atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Pekanbaru, 6 Juli 2020

Atika Irfiana

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN	2
1.3 MANFAAT PENELITIAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	10
3.1 METODOLOGI PENELITIAN	10
3.2 PEMODELAN SIMULASI	11
3.3 JENIS PENELITIAN	13
3.4 TEMPAT PENELITIAN	13
3.5 JADWAL PENELITIAN	14
3.6 DATA ACUAN PENELITIAN	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
BAB V PENUTUP	21
5.1 KESIMPULAN	21
5.2 SARAN	21
DAFTAR PUSTAKA	22
LAMPIRAN	25
LAMPIRAN I Pengklasifikasian Data Pengujian	25
LAMPIRAN II Perhitungan Data Menggunakan Metode <i>C4.5 Algorithm</i>	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Model Konseptual.....	11
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	12
Gambar 3.3 Flowchart Pengerjaan Menggunakan Metode <i>C4.5 Algorithm</i>	13
Gambar 4.1 Hasil <i>Run</i> Menggunakan Simulator Weka	19



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perkembangan Parameter Retensi Surfaktan	7
Tabel 3. 1 Data Reservoir.....	11
Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian.....	14
Tabel 3.3 Data Acuan Penelitian.....	15
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Nilai <i>Information Gain</i> Pada Setiap Parameter Pengujian.....	18



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I Pengklasifikasian Data Pengujian	25
LAMPIRAN II Perhitungan Data Menggunakan Metode <i>C4.5 Algorithm</i>	27



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

ATIKA IRFIANA
153210229

ABSTRAK

Retensi surfaktan adalah kemampuan yang dimiliki surfaktan untuk dapat terserap ke pori batuan. Jika surfaktan tersebut sudah terserap, maka surfaktan akan lengket dan tertinggal pada matriks batuan, sehingga tidak dapat digunakan kembali. Hal ini menyebabkan menurunnya nilai ekonomis dari surfaktan tersebut. Maka dari itu, surfaktan yang diinjeksikan harus memiliki formula yang tepat untuk menghasilkan nilai retensi yang kecil tanpa mengabaikan keefektifan surfaktan tersebut untuk menurunkan *Interfacial Tension*. Terdapat beberapa parameter yang dapat dikontrol untuk menghindari besarnya nilai dari retensi surfaktan tersebut, yaitu: *Absolute Permeability*, *Reservoir Temperature*, *Co-solvent Concentration*, *Surfactant Concentration*, *Mobility Ratio* dan *Molecular Weight Surfactant*.

Pada penelitian ini, dilakukan penelitian mengenai penentuan parameter input retensi surfaktan yang paling efektif untuk dikontrol sehingga tercipta keadaan retensi surfaktan yang diharapkan tanpa mengabaikan keefektifan surfaktan tersebut untuk menurunkan *Interfacial Tension*. Penelitian ini menggunakan 48 skenario model reservoir konseptual yang dibuat menggunakan Simulator *Computer Modelling Group (CMG) STARS*. Untuk *data mining*, penelitian ini menggunakan metode *C4.5 Algorithm* yang telah terprogram pada Simulator Weka.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hasil yang dihasilkan oleh perhitungan manual ataupun menggunakan Simulator Weka memiliki hasil yang sama. Parameter input yang paling mempengaruhi nilai retensi surfaktan adalah parameter konsentrasi surfaktan dengan nilai *information gain* 0.315. Hal ini menandakan bahwa parameter konsentrasi surfaktan memiliki pengaruh lebih besar terhadap nilai retensi surfaktan dibandingkan parameter input lainnya. Sehingga, jika peneliti selanjutnya ingin mengatur nilai retensi surfaktan sesuai dengan yang mereka harapkan, peneliti tersebut dapat terlebih dahulu untuk mengatur nilai retensi tersebut melalui pengontrolan pada parameter konsentrasi surfaktan.

Kata kunci: retensi surfaktan, parameter, *C4.5 Algorithm*, Simulator Weka

ATIKA IRFIANA
153210229

ABSTRACT

Surfactant retention is the ability possessed by surfactants to be absorbed into rock pores. If the surfactant is absorbed, the surfactant will be sticky and left behind in the rock matrix, so it cannot be reused. This causes a decrease in the economic value of these surfactants. Therefore, the injected surfactant must have the right formula to produce the expected retention value without ignoring the effectiveness of the surfactant to reduce Interfacial Tension. There are several parameters that can be controlled to avoid the large value of the surfactant retention, namely: Absolute Permeability, Reservoir Temperature, Co-solvent Concentration, Surfactant Concentration, Mobility Ratio, and Molecular Weight of Surfactant.

In this study, research was conducted on determining the most effective surfactant retention input parameters to be controlled to create the expected surfactant retention state without ignoring surfactants intended to reduce Interface Tension. This study uses 48 reservoir model scenarios created using the Computer Modeling Group (CMG) STARS Simulator. For data mining, this study uses the C4.5 algorithm that has been programmed in the Weka Simulator.

Based on research that has been done, the results generated by manual calculations or using the Weka Simulator have the same results. The input parameter that most influences the surfactant retention value is the surfactant concentration parameter with an information gain value of 0.315. This indicates that the surfactant concentration parameter has a greater influence on the surfactant retention value than other input parameters. So, if the next researcher wants to adjust the surfactant retention value according to what they expect, the researcher can advance to regulate the retention value by controlling the surfactant concentration parameters. Due to based on experiments that have been carried out, this parameter is proven to have a stronger effect compared to the other input parameters.

Keywords: *surfactant retention, parameter, C4.5 Algorithm, weka simulator*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Meningkatnya permintaan dunia terhadap minyak bumi dan minimnya sumur yang dapat diproduksi menggunakan *natural pressure* membuat para peneliti banyak meneliti mengenai EOR (*Enhanced Oil Recovery*) (Kamari, Nikookar, Sahranavard, & Mohammadi, 2014; Mandal, 2015). Metode EOR ini dipercaya dapat meningkatkan perolehan minyak dari suatu sumur yang sudah tua (*mature*) atau jika tekanan reservoir dari sumur tersebut sudah sangat menurun (*depleted*) (Abdurrahman, Permadi, Bae, & Masduki, 2017; Abdurrahman & Permadi, 2016; Dahbag & Hossain, 2016; Kamari, Sattari, Mohammadi, & Ramjugernath, 2015; Moeti & Sampath, 2002; Perera, Rathnaweera, Pathegama, & Ranathunga, 2016; Rai, Bera, & Mandal, 2015; Siavashi & Doranehgard, 2017; Zendejboudi, Ahmadi, Rajabzadeh, Mahinpey, & Chatzis, 2013).

Mengidentifikasi dan memilih suatu metode EOR yang tepat bagi suatu *oil reservoir* adalah hal yang penting (Mollaei, Lake, & Delshad, 2011). *Chemical Flooding* (Injeksi Kimia) adalah salah satu jenis metode pengurusan minyak tahap lanjut (EOR) dengan jalan menambahkan zat-zat kimia ke dalam air injeksi untuk menaikkan perolehan minyak sehingga akan menaikkan efisiensi penyapuan atau menurunkan saturasi minyak sisa yang tertinggal di reservoir. Ada 3 tipe umum yang termasuk dalam injeksi kimia, salah satunya yaitu injeksi surfaktan. Injeksi surfaktan berfungsi untuk menurunkan *interfacial tension* (IFT) dan merubah *wettability* batuan supaya perolehan minyak meningkat (Sheng, 2015).

Namun, dalam injeksi surfaktan sering dialami permasalahan utama yang membuat surfaktan tersebut tidak dapat bekerja secara optimal, yaitu mengenai retensi surfaktan. Retensi surfaktan adalah kemampuan surfaktan untuk dapat terserap pada media pori. Namun, jika surfaktan tersebut terserap, maka besar peluang surfaktan tersebut akan lengket dan tertinggal di matriks batuan, sehingga surfaktan tersebut tidak dapat digunakan lagi. Terserapnya surfaktan saat diinjeksikan melalui media pori adalah suatu fenomena yang rumit (Gogoi, 2011). Fenomena ini akan menurunkan nilai ekonomis dari surfaktan tersebut.

Maka dari itu, surfaktan yang diinjeksikan harus memiliki formula yang tepat untuk menghasilkan retensi surfaktan se-minimalisir mungkin tanpa mengabaikan keefektifan surfaktan tersebut untuk menurunkan *Interfacial Tension*. Terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi nilai dari retensi tersebut, dan telah diteliti sejak tahun 1979 hingga tahun 2015 oleh peneliti sebelumnya, seperti: C.J.Glover, J.Novosad, F.H.L.Wang, Izabela Kowalska, Solairaj dan beberapa peneliti lainnya yang akan dibahas lebih rinci pada bab selanjutnya.

Namun, kebanyakan literatur yang telah dipublikasikan hanya membahas sebatas parameter-parameter yang mempengaruhi retensi surfaktan dan tidak membahas lebih dalam mengenai parameter tersebut. Contohnya pada tahun 2012, Solairaj membahas mengenai parameter-parameter yang mempengaruhi retensi surfaktan. Solairaj (2012) berpendapat bahwa retensi surfaktan sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter, yaitu: *TAN, Reservoir Temperature, Molecular Weight, Co-solvent Concentration, pH, and Mobility Ratio*

Karna latar belakang diatas, peneliti tertarik dan ingin melakukan penelitian lebih mendalam terkait parameter yang mempengaruhi retensi surfaktan. Pada penelitian ini, peneliti melakukan penelitian berfokus pada penentuan parameter input retensi surfaktan yang paling efektif untuk dikontrol sehingga tercapai nilai retensi surfaktan yang diharapkan. Penelitian ini menggunakan metode *C4.5 Algorithm*. Penelitian ini dilakukan menggunakan Simulator *CMG Stars* dan Simulator Weka.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan latar belakang penelitian tersebut, maka tujuan penulisan tugas akhir ini adalah menentukan parameter input retensi surfaktan yang paling efektif untuk dikontrol sehingga tercipta keadaan retensi surfaktan yang diharapkan.

1.3 MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan pemahaman mengenai retensi surfaktan, terutama dibidang parameter.
2. Menjadikan publikasi ilmiah dalam bentuk jurnal atau *paper* yang berskala nasional maupun internasional, sehingga dapat menjadi referensi dalam penelitian selanjutnya.

1.4 BATASAN MASALAH

Agar penelitian ini mendapatkan hasil yang lebih terarah dan terfokus, maka perlu adanya batasan masalah. Adapun batasan masalah yang diberikan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini hanya membahas Metode *C4.5 Algorithm* .
2. Penelitian ini hanya membahas pengaplikasian penentuan parameter dominan menggunakan Simulator Weka.
3. Penelitian ini hanya menggunakan enam parameter untuk diuji sifat dominannya, yaitu; *Absolute Permeability*, *Reservoir Temperature*, *Co-solvent Concentration*, *Surfactant Concentration*, *Mobility Ratio*, dan *Molecular Weight Surfactant*.
4. Penelitian ini mengabaikan aspek sejarah produksi, *oil production*, dan ekonomi.
5. Penelitian ini hanya membahas perkembangan parameter surfaktan dari tahun 1979 hingga tahun 2015.
6. Data reservoir yang digunakan adalah data yang bersifat homogen.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Sumber daya alam adalah segala sesuatu yang diciptakan Allah dimuka bumi ini yang dapat dimanfaatkan oleh manusia agar kebutuhan hidupnya sejahtera dan tercukupi. Seperti yang di tafsirkan pada surat Al-Baqarah ayat 29, berikut ini:

“Dialah Allah, yang menjadikan segala yang ada di bumi untuk kamu dan Dia berkehendak (menciptakan) langit, lalu dijadikan-Nya tujuh langit. Dan Dia Maha Mengetahui segala sesuatu.”

Minyak bumi adalah salah satu contoh sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, namun memiliki angka konsumsi yang sangat tinggi. Oleh sebab itu, manusia menciptakan berbagai metode ataupun teknologi untuk memproduksi minyak bumi tersebut. *Chemical Flooding* adalah suatu metode yang dapat meningkatkan produksi minyak bumi tersebut. *Chemical Flooding* adalah suatu proses penginjeksian bahan kimia seperti; surfaktan, polymer, atau alkaline di reservoir untuk mengeluarkan *residual oil* dengan cara meningkatkan mobilitas, menurunkan *interfacial tension* dan meningkatkan efisiensi penyapuan (Ahmadi, 2014; Park, Lee, Rosli, & Sulaiman, 2015). *Chemical Flooding* adalah salah satu metode EOR terbaik yang mampu memulihkan 35% dari OOIP (*Original Oil in Place*) (Mandal, 2015). *Chemical Flooding* terdiri dari beberapa metode, salah satunya, yaitu: *Surfactant Flooding*. Surfaktan merupakan komponen organik yang *amphiphilic*. Rantai hidrokarbon terdiri dari kepala dan ekor (*hydrophilic* merupakan bagian kepala, *hydrophobic* merupakan bagian ekor). Oleh karena itu, surfaktan dapat larut pada solven dan air. Penyerapan surfaktan pada permukaan atau antar muka fluida akan mengubah sifat permukaan yang signifikan sehingga dapat mengurangi tegangan permukaan atau *interfacial tension* (IFT) (Sheng, 2011). Terdapat dua tujuan penginjeksian surfaktan. Tujuan penginjeksian surfaktan, yaitu:

1. Menurunkan *Interfacial Tension*

Interfacial tension (IFT) merupakan ketidakseimbangan dari molekul pada antarmuka antara dua fasa yang disebabkan oleh interaksi antar molekul. IFT yang besar mengakibatkan mobilitas minyak di reservoir akan berkurang sehingga perolehan minyak pada *primary recovery* dan *secondary recovery* menjadi menurun.

Diantara semua metode *Chemical Flooding* yang fungsinya sama-sama dapat meningkatkan perolehan minyak, menggunakan surfaktan untuk menurunkan *interfacial tension* adalah cara paling optimal untuk mengurasi *residual oil* pada batuan ((Park et al., 2015); (Kamari et al., 2015)).

2. Perubahan *Wettability*

Perubahan *wettability* lebih berpengaruh jika dilakukan pada batuan karbonat karena batuan karbonat lebih *oil-wet*, sehingga surfaktan dapat merubah matrik batuan menjadi lebih *water-wet*. Air bisa ber-imbibisi dari rekahan masuk ke matriks batuan untuk mendorong minyak keluar.

Jika pengaruh perubahan *wettability* dan penurunan IFT digabungkan maka dapat dilihat bahwa perubahan *wettability* berperan penting ketika IFT tinggi (Sheng, 2011).

Jika ditinjau dari segi jenisnya, surfaktan dibagi berdasarkan jumlah ion dikepalanya, klasifikasi surfaktan berdasarkan ion di kepalanya yaitu:

1. Surfaktan *anionic*

Adalah surfaktan yang bagian alkilnya terikat pada suatu anion (muatan negatif). Surfaktan ini sering digunakan dalam proses EOR *chemical* karena menunjukkan penyerapan yang relatif rendah pada batuan *sandstone* yang memiliki ion negatif (Sheng, 2011).

2. Surfaktan *nonionic*

Adalah surfaktan yang bagian alkilnya tidak memiliki muatan. Umumnya digunakan sebagai kosurfaktan untuk meningkatkan kelakuan fasa di sistem, meskipun lebih tahan pada salinitas yang tinggi, tapi fungsinya untuk menurunkan IFT tidak sebaik surfaktan anionik. Campuran surfaktan anionik dan nonionik digunakan untuk meningkatkan ketahanannya terhadap salinitas (Sheng, 2011).

3. Surfaktan *cationic*

Adalah surfaktan yang bagian alkilnya terikat pada suatu kation (muatan positif). Surfaktan ini memiliki penyerapan yang tinggi pada batuan *sandstone*, untuk itu pada umumnya mereka digunakan untuk batuan karbonat untuk merubah kebasahan (*wettability*) dari *oil-wet* menjadi *water-wet* (Sheng, 2011).

4. Surfaktan *Zwitterionic*

Adalah surfaktan yang bagian alkilnya memiliki muatan positif dan muatan negatif. Jenis surfaktan ini terdiri dari gabungan dua atau lebih ion seperti anionic-kationik. Namun, surfaktan jenis ini jarang digunakan untuk peningkatan perolehan minyak, karena harganya yang mahal (Sheng, 2011).

Penggunaan surfaktan sebagai metode *oil recovery* sudah diimplementasikan lebih dari 35 tahun di reservoir, khususnya di United States of America (Iglauer, Wu, Shuler, Tang, & Iii, 2010; Kamari et al., 2015). Injeksi surfaktan ini ditujukan untuk memproduksi *residual oil* yang ditinggalkan oleh *water drive*, dimana minyak yang terjebak oleh tekanan kapiler tersebut tidak dapat bergerak. Minyak tersebut dapat dikeluarkan dengan menginjeksikan larutan surfaktan. Surfaktan bekerja dengan cara menurunkan *interfacial tension* antara minyak dan batuan, hingga minyak yang terperangkap tersebut dapat terlepas dari batuan. Selain itu, surfaktan juga diharapkan dapat merubah *wettability* batuan, dari yang *oil-wet* menjadi *water-wet*, sehingga minyak tersebut dapat lebih mudah untuk terlepas dari batuan. Setelah minyak dapat bergerak, maka diharapkan tidak ada lagi minyak yang tertinggal.

Surfactant Flooding adalah *chemical flooding* yang paling menjanjikan, namun injeksi ini bersifat tidak ekonomis. Hal tersebut karena surfaktan mudah terserap pada permukaan (matriks) batuan (Park et al., 2015; Thomas, 2007; Wang, 1993). Kejadian tersebut dinamakan retensi surfaktan. Retensi surfaktan adalah permasalahan utama pada saat penginjeksian surfaktan, yang mana penginjeksian tersebut berfungsi untuk memulihkan *residual oil* (Glover, Puerto, Maerker, & Sandvik, 1979). Hilangnya surfaktan tersebut dapat berdampak pada hilangnya nilai guna dari surfaktan dan hilangnya nilai ekonomis yang diharapkan (Chengzhi, Bazin, Labrid, & Yanli, 1988; Kamari et al., 2015; Yassin, Arabloo, Shokrollahi, & Mohammad, 2013). Nilai retensi surfaktan yang terlalu tinggi, menyebabkan surfaktan tersebut terserap dan tertinggal di matriks batuan. Ketika surfaktan tersebut sudah terserap dan tertinggal di matriks batuan, surfaktan tersebut sudah tidak dapat digunakan, sehingga surfaktan tersebut tidak dapat bekerja secara optimal untuk menurunkan *interfacial tension*. Hal ini akan menyebabkan kerugian karena mengingat harga surfaktan yang tidak murah.

Permasalahan retensi surfaktan sudah lama dikenal oleh dunia (Novosad, 1982). Peneliti terdahulu meneliti mengenai retensi surfaktan sebatas parameter yang mempengaruhi surfaktan ataupun menghitung bagaimana cara menghitung retensi surfaktan tersebut. Pada penelitian ini, peneliti akan mengulas lebih dalam lagi dari segi parameter yang mempengaruhi retensi surfaktan.

Terdapat beberapa peneliti terdahulu yang mengulas apakah parameter yang mempengaruhi retensi tersebut. Contohnya pada tahun 2015, Kamari membahas apakah parameter yang paling mempengaruhi nilai retensi surfaktan. Kamari (2015) berpendapat bahwa nilai dari retensi surfaktan dipengaruhi oleh beberapa parameter, yaitu: *Absolute Permeability, TAN, Reservoir Temperature, Co-solvent Concentration, Polymer Salinity, pH, Mobility Ratio, Molecular Weight, and Rock Type*.

Oleh karena itu, peneliti sudah merangkum bagaimana perkembangan parameter yang mempengaruhi surfaktan dari tahun 1979 hingga tahun 2015. Berikut ini dicantumkan perkembangan penelitian parameter yang mempengaruhi retensi surfaktan dari beberapa penelitian dari tahun 1979 sampai tahun 2015:

Tabel 2. 1 Perkembangan Parameter Retensi Surfaktan

Tahun (Peneliti)	Parameter
1979 (C.J.Glover, M.C.Puerto, J.M.Maerker, dan E.L.Sandvik)	<i>Brine Salinity</i>
1982 (J.Novosad)	<i>Reservoir temperature</i>
1993 (F.H.L.Wang)	<i>pH, Permeability, and Brine Salinity</i>
2007 (Izabela Kowalska)	<i>Surfactant Concentration</i>
2011 (Subrata Borgohain Gogoi)	<i>Ph</i>

2012 (Sriram Solairaj, Christopher Britton, Do Hoon Kim, Upali Weerasooriya, dan Gary A.Pope)	<i>TAN, Reservoir Temperature, Molecular Weight Surfactant, Co- solvent Concentration, pH, and Mobility Ratio</i>
2013 (Mahmood Reza Yassin, Milad Arabloo, Amin Shokrollahi, dan Amir H. Mohammad)	<i>Mineralogy of Rock, Surfactant Structure, pH, Salinity, Acidity of The Oil, Co-solvent Concentration, and Mobility Ratio</i>
2014 (Sangkwon Park, Euy Soo Lee, dan Wan Rosli Wan Sulaiman)	<i>Surfactant Concentration, Molecular Weight, and Surfactant Type</i>
2015 (Arash Kamari, Mehdi Sattari, Amir H.Mohammadi, dan Deresh Ramjugernath)	<i>Absolute Permeability, TAN, Reservoir Temperature, Co-solvent Concentration, pH, Mobility Ratio, and Molecular Weight</i>

Penelitian mengenai retensi surfaktan dahulunya hanya menggunakan tes laboratorium, yaitu menggunakan *coreflood test*. Namun, pada tahun 2014, pengaplikasian *artificial intelligence* mulai digunakan. *Artificial intelligence* adalah kecerdasan yang diciptakan dan dimasukkan kedalam suatu sistem agar dapat melakukan pekerjaan seperti layaknya manusia. Cabang *Artificial intelligence* yang digunakan adalah *machine learning*. *Machine learning* adalah suatu kemampuan mesin untuk mempelajari data dan melakukan tugas tertentu dengan cara mempelajari sistem algoritma dan data statistik yang ada. *Machine learning* yang digunakan adalah model *least squares support vector machine (LSSVM)*. *Least squares support vector machine (LSSVM)* ini digunakan untuk menentukan nilai retensi surfaktan.

Pada tahun 2015, pengaplikasian *artificial intelligence* digunakan kembali untuk menentukan nilai retensi surfaktan. *Genetic programming* adalah jenis *artificial intelligence* yang digunakan untuk menentukan nilai retensi surfaktan tersebut. Namun, dalam penelitian dibidang parameter, belum ada peneliti terdahulu yang mengaplikasikan *artificial intelligence* dalam bidang tersebut.

Pada penelitian ini, peneliti akan mengaplikasikan penggunaan *artificial intelligence* pada penentuan parameter yang dominan tersebut. *Artificial intelligence* yang digunakan adalah salah satu jenis dari *machine learning*, yaitu Simulator *The Waikato Environment For Knowledge Analysis* (Weka). Simulator ini dibuat dan dikembangkan oleh *University of Waikato* di New Zealand pada tahun 1997 (Aksenova, 2004; Patel & Desai, 2015). Simulator ini sudah mengandung program yang memuat metode *C4.5 Algorithm*. Simulator ini memiliki kelebihan yaitu simulator ini dibawah GNU *General Public License*, sehingga simulator ini gratis dan bisa diakses siapapun (Patel & Desai, 2015). Selain itu, simulator Weka adalah simulator yang bersifat *user experience*, sehingga simulator ini mudah untuk digunakan, dipahami, dan hasilnya tergolong akurat (dapat dipercaya). Simulator ini bekerja dengan cara mempelajari dan mengolah keseluruhan data yang ada sesuai konsep metode *C4.5 Algorithm*, sehingga simulator tersebut mampu menentukan parameter yang paling dominan dari nilai-nilai input yang diinput pada simulator tersebut tanpa harus melakukan perhitungan metode *C4.5 Algorithm* secara manual.

Metode *C4.5 Algorithm* berfungsi untuk mengklasifikasikan data (Bulolo, Silalahi, Fadlina, & Rahim, 2017). Metode ini memiliki kelebihan yaitu mampu untuk mengolah data dalam bentuk kualitatif maupun kuantitatif, menghasilkan *decision tree* yang mudah untuk dipahami, keakuratan hasil yang didapat bisa dipercaya, dan proses pengerjaan yang sederhana dan cepat (Bulolo et al., 2017; Kamagi & Hansun, 2014; Quinlan, 1994). Pada tahun 2013, metode *C4.5 Algorithm* juga pernah digunakan untuk menentukan parameter yang paling mempengaruhi produksi minyak (Li, Chan, & Nguyen, 2013).

Keterangan:

A : Atribut

V : Menyatakan suatu nilai yang mungkin untuk atribut A

$Values(A)$: Himpunan nilai-nilai yang mungkin untuk atribut A

$|S_v|$: Jumlah sampel untuk nilai v

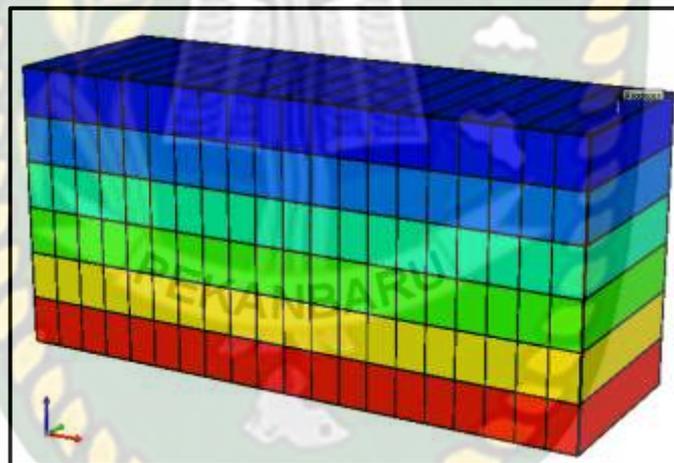
$|S|$: Jumlah seluruh sampel data

$Entropy(S_v)$: Entropi untuk sampel-sampel yang memiliki nilai v

5. Hasil dari perhitungan manual ini akan dijadikan sebagai gambaran awal dari hasil yang akan didapat dari Weka. Input kembali data penelitian pada Simulator Weka dengan format data CSV (*comma delimited*) untuk melihat hasil parameter dominan jika dicari menggunakan Simulator Weka.

3.2 PEMODELAN SIMULASI

Penelitian ini menggunakan model konseptual yang dibuat menggunakan CMG STARS. Model tersebut ditunjukkan pada **Gambar 3.1** berikut ini.



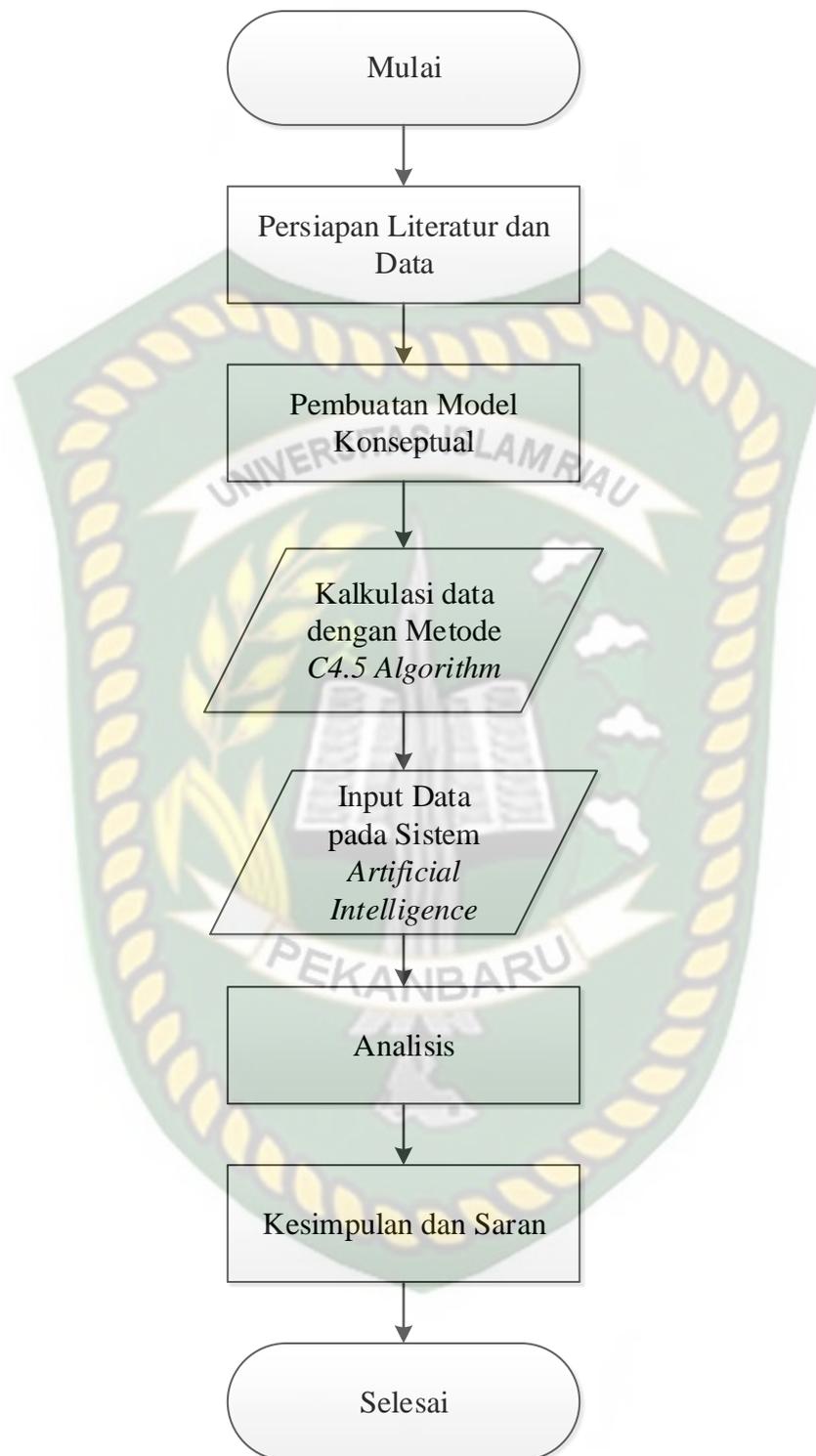
Gambar 3. 1 Model Konseptual

Berikut ini adalah data *Reservoir Properties* pada model konseptual tersebut, yaitu:

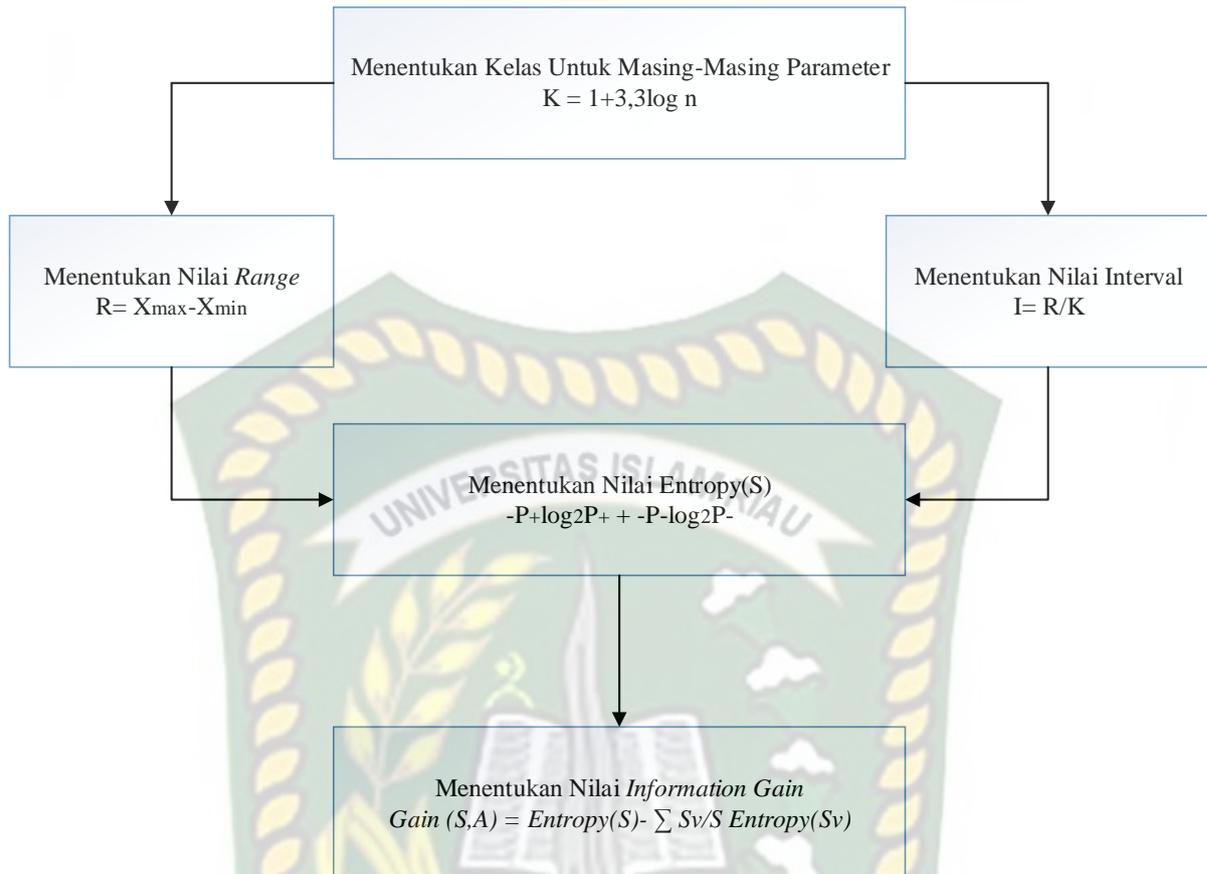
Tabel 3. 1 Data Reservoir

No	<i>Reservoir Properties</i>	<i>Unit</i>	<i>Value</i>
1.	Porositas	%	34.5
2.	Tekanan Reservoir	Psi	845
3.	Temperatur Reservoir	°F	127
4.	Kedalaman Reservoir	Ft	2020

Sumber: (Mamora & Sandoval, 2005)



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Flowchart Pengerjaan Menggunakan Metode C4.5 Algorithm

3.3 JENIS PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan Metode *Simulation Research*. Terdapat enam parameter yang diuji pada simulasi ini, yaitu; *Absolute Permeability*, *Reservoir Temperature*, *Co-solvent Concentration*, *Surfactant Concentration*, *Mobility Ratio* dan *Molecular Weight Surfactant*.

3.4 TEMPAT PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Simulasi Reservoir Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data yang bersifat sekunder. Data ini didapatkan sesuai dari literatur yang ada dan terpercaya.

3.5 JADWAL PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan mulai bulan Maret 2020 hingga bulan Juni 2020 dengan perincian kegiatan seperti pada **Tabel 3.2** berikut ini:

Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian

No.	Jenis Kegiatan	Maret 2020				April 2020				Mei 2020				Juni 2020			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	<i>Literature Review</i>																
2.	Pembuatan Model dan Perhitungan statistik sesuai Metode <i>C4.5 Algorithm</i>																
3.	Pengaplikasian ke sistem <i>Artificial Intelligent</i>																
4.	Analisis Hasil																
5.	Laporan Akhir																

3.6 DATA ACUAN PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan enam parameter pengujian, yaitu; permeabilitas absolute, temperature reservoir, konsentrasi Co-solvent, konsentrasi surfaktan, *Mobility Ratio* dan *Molecular Weight* Surfaktan. Data acuan dari penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.3** berikut ini:

Tabel 3. 3 Data Acuan Penelitian

Sampel	Temperatur Reservoir	Konsentrasi Co-Solvent	Mobility Ratio	MW Surfaktan	Konsentrasi Surfaktan	Permeabilitas Absolute	Retensi Surfaktan
	°C	wt%		lb/lbmole	wt%	mD	mg/g
1	25	1	0.62	559.51	0.005	207	0.0031
2	25	1	0.95	559.51	0.005	195	0.0096
3	25	1	0.84	559.51	0.005	324	0.0095
4	25	1	0.42	559.51	0.005	369	0.0066
5	25	1	0.45	559.51	0.007	433	0.01
6	25	1	0.55	559.51	0.01	304	0.0091
7	30	2	0.5	559.51	0.01	307	0.0098
8	44	0.25	0.2	715.65	0.05	1714	0.084
9	44	0.5	0.16	715.65	0.05	122	0.045
10	44	0.5	0.46	715.65	0.08	175	0.052
11	46	0.5	0.1	719.37	0.008	283	0.013
12	27	1	0.5	559.51	0.06	251	0.049
13	100	0.5	0.21	650.63	0.04	1572	0.067
14	38	2	0.42	588.3	0.06	353	0.073
15	25	0.75	0.37	751.76	0.07	127	0.04
16	25	0.75	0.41	751.76	0.02	230	0.017
17	25	0.75	1.4	751.76	0.02	151	0.039
18	85	3	0.33	580.21	0.1	1356	0.163
19	62	1	0.36	413.47	0.1	673	0.169
20	62	1	0.17	413.47	0.1	451	0.161
21	62	1	0.2	413.47	0.1	486	0.162
22	62	0.3	0.23	588.3	0.2	2452	0.313
23	62	0.3	0.05	588.3	0.15	4000	0.224
24	62	0.15	0.15	1320	0.5	2670	0.64
25	62	0	0.1	1320	0.18	2870	0.273
26	62	0	0.08	1320	0.03	3986	0.049
27	62	0	0.06	1320	0.4	3474	0.537
28	62	0.3	0.17	588.3	0.04	2192	0.067
29	62	0.3	0.11	515.19	0.5	1519	0.656
30	62	0	0.06	1320	0.02	6400	0.032
31	62	0.2	0.04	1320	0.32	4600	0.437
32	83	0	0.4	601.36	0.06	412	0.09
33	83	0	0.3	601.36	0.47	417	0.664
34	83	0.5	0.41	601.36	0.19	293	0.19
35	55	1	0.3	632.35	0.3	100	0.152
36	55	1	0.07	632.35	0.008	150	0.0026
37	46	0	0.1	368.52	0.02	1470	0.033
38	46	1	0.1	515.19	0.1	1418	0.156
39	46	1	0.11	515.19	0.1	1476	0.157

40	46	1	0.05	515.19	0.5	1923	0.631
41	46	1	0.08	515.19	0.5	1388	0.594
42	46	0.4	0.05	591.01	0.007	1903	0.011
43	55	0	0.38	461	0.4	494	0.592
44	55	0	0.2	567.48	0.28	431	0.421
45	55	0	0.1	584.67	0.07	422	0.113
46	55	0	0.08	567.48	0.48	449	0.26
47	85	0	0.35	479.84	0.06	304	0.073
48	55	1	0.1	496.51	0.5	365	0.648

Sumber: (Aoudia, Al-shibli, Al-kasimi, Al-maamari, & Al-bemani, 2006; Solairaj, Britton, Kim, Weerasooriya, & Pope, 2012)



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penginjeksian surfaktan, sering dijumpai permasalahan dibidang retensi surfaktan. Retensi surfaktan adalah kemampuan surfaktan untuk dapat terserap ke pori-pori batuan. Hal ini menjadi permasalahan dikarenakan jika surfaktan telah terserap pada pori pori batuan, surfaktan akan lengket pada matriks batuan dan surfaktan tersebut tidak dapat dimanfaatkan sebagaimana harusnya . Hal ini tentunya menyebabkan penurunan dari segi keekonomisan dari penginjeksian surfaktan tersebut.

Pada penelitian ini, peneliti melakukan percobaan untuk menentukan parameter dominan retensi surfaktan pada batuan *sandstone* menggunakan metode *C4.5 Algorithm* pada Simulator Weka. Peneliti melakukan penelitian ini dengan tujuan untuk mempermudah peneliti lainnya untuk melakukan pengontrolan parameter sehingga didapatkan hasil retensi surfaktan yang diharapkan. Sebelum melakukan penelitian ini, peneliti telah melakukan pencarian dan membaca sumber-sumber yang telah dipublikasi oleh peneliti sebelumnya mengenai retensi surfaktan ini. Namun, peneliti terdahulu meneliti mengenai retensi surfaktan ini hanya sebatas parameter yang mempengaruhi retensi surfaktan ataupun menghitung bagaimana cara menghitung retensi surfaktan tersebut. Karena hal tersebut, peneliti menjadi tertarik dan melakukan penelitian lebih dalam dibidang parameter retensi surfaktan.

Peneliti menggunakan batuan jenis *sandstone* karena batuan ini memiliki sifat yang homogen. Karena penelitian ini menggunakan batuan *sandstone*, surfaktan yang digunakan adalah surfaktan dengan jenis anionik. Hal tersebut karena surfaktan anionik memiliki daya serap yang rendah pada batuan *sandstone*, sehingga dapat meminimalisir jumlah surfaktan yang terserap pada matriks batuan. Surfaktan yang digunakan adalah campuran dari beberapa jenis surfaktan anionik, yaitu *alkyl benzene sulfonates (ABS)*, *internal olefin sulfonates (IOS)*, *large hydrophobe guerbetalkoxy carboxylates (GAC)*, *alcohol propoxy sulfates (APS)*, dan *large hydrophobe guerbetalkoxy sulfates (GAS)*. Untuk mensimulasikan keadaan reservoir

tersebut, peneliti menggunakan simulator CMG STARS. Peneliti membuat 48 skenario dengan nilai parameter yang berbeda-beda yang diambil dari *paper* karya Solairaj tahun 2012.

Untuk menyelesaikan kasus ini, peneliti menggunakan metode *C4.5 Algorithm* yang sudah terprogram pada Simulator Weka. Metode ini akan membantu dalam penentuan parameter dominan dari retensi surfaktan. Namun, sebelum melakukan *run* menggunakan Simulator Weka, peneliti melakukan perhitungan secara manual sesuai dengan konsep dasar dari metode *C4.5 Algorithm*. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk memberikan gambaran awal dari hasil yang nantinya akan dihasilkan oleh Simulator Weka tersebut. Untuk tahap pengerjaan perhitungan, dapat dilihat secara rinci pada **Lampiran II**. Berikut ini adalah hasil perhitungan menggunakan metode *C4.5 Algorithm* secara manual yang peneliti rangkum pada **Tabel 4.1**.

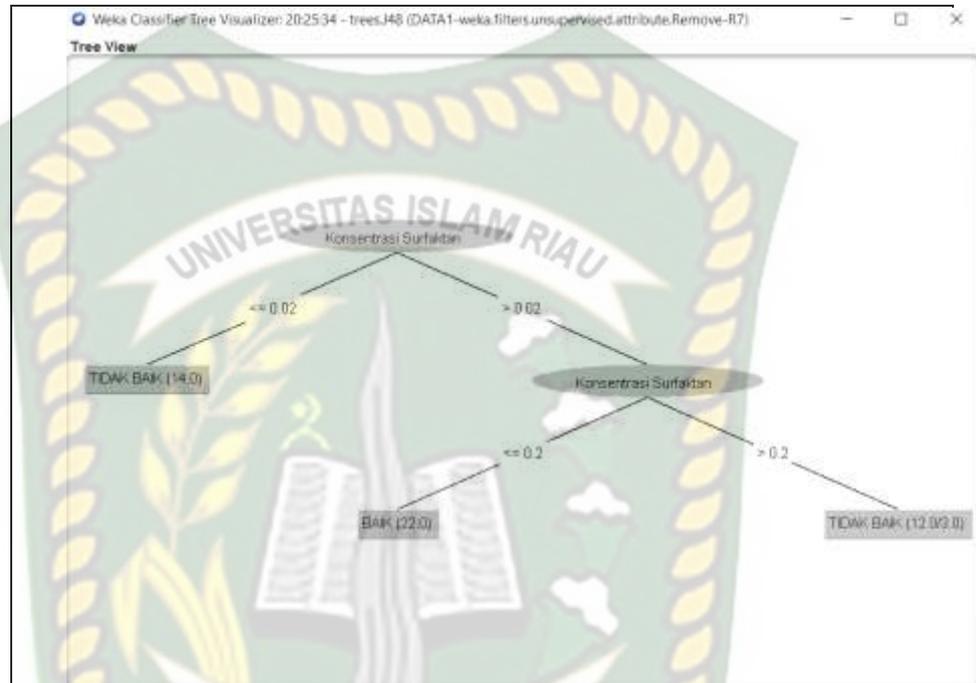
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Nilai *Information Gain* Pada Setiap Parameter Pengujian

Parameter	<i>Information Gain</i>
Temperatur Reservoir	0,171
Konsentrasi Co-solvent	0,038
<i>Mobility Ratio</i>	0,092
<i>Molecular Weight</i> Surfaktan	0,015
Konsentrasi Surfaktan	0,315
Permeabilitas Absolute	0,117

Nilai *information gain* tertinggi adalah parameter retensi surfaktan yang paling berpengaruh (dominan) terhadap nilai retensi surfaktan. Nilai *information gain* ini memiliki nilai maksimal, yaitu 1 (Bimantoro & Uyun, 2017). Berdasarkan perhitungan manual menggunakan metode *C4.5 Algorithm* tersebut, parameter dominan retensi surfaktan adalah parameter konsentrasi surfaktan.

Setelah mengetahui gambaran awal dari hasil yang nantinya akan dihasilkan oleh simulator weka, peneliti melakukan penentuan parameter tersebut menggunakan metode *C4.5 Algorithm* yang sudah terprogram pada simulator tersebut. Penerapan *artificial intelligence* pada penelitian ini dimulai pada penggunaan simulator ini. Simulator ini mempermudah peneliti untuk

mengklasifikasikan data dengan cara mempermudah proses pengerjaan karena tidak perlu melakukan perhitungan seperti pada **Lampiran II**. Hasil dari simulator tersebut nantinya berupa *decision tree*. Dari simulator tersebut, maka didapatlah hasil sebagai berikut:



Gambar 4.1 Hasil *Run* Menggunakan Simulator Weka

Dari hasil *run* menggunakan simulator ini didapatkan hasil bahwa parameter konsentrasi surfaktan adalah parameter yang dominan pada nilai retensi surfaktan dengan tingkat keakuratan 96,45 %. *Rule* yang dihasilkan oleh **Gambar 4.1**. yaitu:

- Jika konsentrasi surfaktan ≤ 0.02 atau > 0.2 , maka retensi surfaktan yang dihasilkan tergolong tidak baik.
- Jika Konsentrasi surfaktan > 0.02 hingga ≤ 0.2 (0.02 hingga 0.2), maka retensi surfaktan yang dihasilkan tergolong baik.

Setelah dilakukan perhitungan secara manual dan *run* pada simulator, ternyata hasil yang dihasilkan oleh dua perhitungan ini adalah sama, yaitu parameter konsentrasi surfaktan. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Izabela Kowalska (2007) dan Sangkwon Park (2014) yang

mengatakan bahwa konsentrasi surfaktan adalah salah satu parameter utama yang mempengaruhi nilai retensi surfaktan.

Pada *decision tree* tersebut terlihat bahwa terdapat 22 nilai retensi surfaktan yang tergolong baik pada rentang nilai Konsentrasi surfaktan > 0.02 hingga ≤ 0.2 (0.02 hingga 0.2). Sementara itu, untuk nilai retensi surfaktan yang tergolong tidak baik, terdapat 26 nilai retensi surfaktan pada rentang nilai konsentrasi surfaktan ≤ 0.02 atau > 0.2 . Namun, pada nilai retensi surfaktan yang kurang baik tersebut, terdapat 3 nilai dari 26 nilai retensi surfaktan tersebut yang *error*, sehingga menyebabkan tingkat keakuratan dari simulator tersebut berkurang 3,55 %. Persentase nilai *error* sebesar 3,55 % ini terkategori tingkat kesalahan yang sangat rendah (Faelasofi, 2017). *Error* yang terjadi dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu (Fauzi, Moh, Yau, & Classifier, 2007):

- a. Kesalahan dalam penginputan data parameter
- b. Terdapat kekeliruan dalam pembacaan nilai retensi surfaktan yang kurang tepat pada saat di Simulator CMG STARS
- c. Terdapat data parameter pengujian yang tidak valid (data pengujian tidak ideal)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti, parameter konsentrasi surfaktan memiliki pengaruh lebih besar terhadap nilai retensi surfaktan dibandingkan parameter input lainnya. Sehingga, jika peneliti selanjutnya ingin mengatur nilai retensi surfaktan sesuai dengan yang mereka harapkan, peneliti tersebut dapat terlebih dahulu untuk mengatur nilai retensi tersebut melalui pengontrolan pada parameter konsentrasi surfaktan. Hal ini telah terbukti dari penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti.

BAB V PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa parameter dominan dari retensi surfaktan adalah parameter konsentrasi surfaktan dengan nilai *information gain* 0,315. Terdapat 3,55 % tingkat ke *error* an pada penelitian ini yang dapat disebabkan karena terdapat salah satu data pengujian yang tidak valid, kesalahan dalam penginputan parameter, ataupun kekeliruan dalam pembacaan nilai retensi pada saat di CMG STARS.

5.2 SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan beberapa hal untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

- a. Melakukan penelitian berupa penentuan parameter pengujian secara urut dari yang paling efektif hingga yang kurang efektif (pemeringkatan parameter).
- b. Melakukan penelitian untuk menemukan penyebab *error* sebesar 3,55 % pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, M., Permadi, A. K., Bae, W. S., & Masduki, A. (2017). EOR in Indonesia : Past , present , and future. *International Journal of Oil Gas and Coal Technology*, 16, 251–270.
- Abdurrahman, & Permadi, A. K. (2016). Studi Laboratorium Terhadap Tegangan Antar Muka Sistem Minyak-CO2 Pada Kondisi Reservoir. *Jurnal Teknologi Minyak Dan Gas Bumi*, 12, 167–175.
- Ahmadi, M. A. (2014). Developing a Robust Surrogate Model of Chemical Flooding Based on the Artificial Neural Network for Enhanced. *Hindawi Journal*, 1–9.
- Aksenova, S. (2004). Machine Learning with WEKA, *Journal of Computer Science*, 2-44
- Aoudia, M., Al-shibli, M. N., Al-kasimi, L. H., Al-maamari, R., & Al-bemani, A. (2006). Novel Surfactants for Ultralow Interfacial Tension in a Wide Range of Surfactant Concentration and Temperature. *Journal of Surfactants and Detergents*, 9, 287–293.
- Bimantoro, D. A., & Uyun, S. (2017). Pengaruh Penggunaan Information Gain Untuk Seleksi Fitur Citra Tanah Dalam Rangka Menilai Kesesuaian Lahan Pada Tanaman Cengkeh. *Jurnal Informatika Sunan Kalijaga*. 2, 42–52.
- Bulolo, E., Silalahi, N., Fadlina, & Rahim, R. (2017). C4 . 5 Algorithm To Predict the Impact of the Earthquake. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2–8.
- Chengzhi, B. Y., Bazin, B., Labrid, & Yanli, L. (1988). Reduction of Surfactant Retention with Polyphosphates In Surfactant Flooding Process. *Society of Petroleum Engineers Journal*.
- Dahbag, M. S., & Hossain, M. E. (2016):"Simulation of Ionic Liquid Flooding for Chemical Enhance Oil Recovery Using CMG STARS Software" paper SPE 182836 presented at The SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition in Dammam, Saudi Arabia, 25-28 April 2018.
- Faelasofi, R. (2017). Identifikasi Kemampuan Berpikir Kreatif Matematika Pokok Bahasan Peluang. *Jurnal Edumath*, 155–163.
- Fauzi, M., Moh, S., & Yau, T. (2007). Comparison of Different Classification Techniques Using WEKA for Breast Cancer. *IFMBE Proceedings*, 15, 520–521.
- Glover, C. ., Puerto, M. ., Maerker, J. ., & Sandvik, E. . (1979). Surfactant Phase Behavior and Retention in Porous Media. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 183–193.
- Gogoi, S. B. (2011). Adsorption–Desorption of Surfactant for Enhanced Oil Recovery. *Springer Journal*, 590–604.
- Iglauer, S., Wu, Y., Shuler, P., Tang, Y., & Iii, W. A. G. (2010). New surfactant classes for enhanced oil recovery and their tertiary oil recovery potential. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 71, 23–29.
- Kamagi, D. H., & Hansun, S. (2014). Implementasi Data Mining dengan Algoritma C4 . 5 untuk Memprediksi Tingkat Kelulusan Mahasiswa. *Jurnal Teknik Informatika*, 15–20.

- Kamari, A., Nikookar, M., Sahranavard, L., & Mohammadi, A. H. (2014). Efficient screening of enhanced oil recovery methods and predictive economic analysis. *Neural Comput & Applic Journal*.
- Kamari, A., Sattari, M., Mohammadi, A. H., & Ramjugernath, D. (2015). Reliable method for the determination of surfactant retention in porous media during chemical flooding oil recovery. *FUEL Journal*, 158, 122–128.
- Li, X., Chan, C. W., & Nguyen, H. H. (2013). Application of the Neural Decision Tree approach for prediction of petroleum production. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 104, 11–16.
- Mamora, D. D., & Sandoval, J. E. (2005): "Investigation of a Smart Steamflood Pattern To Enhance Production From San Ardo Field, California" paper SPE 95491 presented at The SPE Annual Technical Conference and Exhibition in Dallas, Texas, U.S.A, 9-12 October, 2005..
- Mandal, A. (2015). Chemical flood enhanced oil recovery. *International Journal of Oil Gas and Coal Technology*, 241–264.
- Moeti, L. T., & Sampath, R. (2002). Characterization of Phase and Emulsion Behavior, Surfactant Retention, and Oil Recovery for Novel Alcohol Ethoxycarboxylate Surfactants. *Fossil Energy Journal*.
- Mollaei, A., Lake, L. W., & Delshad, M. (2011). Application and Variance Based Sensitivity Analysis of Surfactant-Polymer Flooding Using Modified Chemical Flood Predictive Model. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 79, 25–36.
- Novosad, J. (1982). Surfactant Retention In Berea Sandstone- Effects of Phase Behavior and Temperature. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 962–970.
- Park, S., Lee, E. S., Rosli, W., & Sulaiman, W. R. W. (2015). Adsorption Behaviors of Surfactants for Chemical Flooding in Enhanced Oil Recovery. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 1239–1245.
- Patel, P. ., & Desai, D. S. . (2015). A Comparative Study on Data Mining Tools. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 28–30.
- Perera, S., Rathnaweera, T., Pathegama, R., & Ranathunga, A. (2016). A Review of CO₂-Enhanced Oil Recovery with a Simulated Sensitivity Analysis. *Energies*, (June), 1–22.
- Quinlan, J. R. (1994). *C4.5 : Programs for Machine Learning*. 240, 235–240.
- Rai, S. K., Bera, A., & Mandal, A. (2015). Modeling of surfactant and surfactant – polymer flooding for enhanced oil recovery using STARS (CMG) software. *Journal of Petroleum Exploration Production Technology*, 5, 1–11.
- Sheng, J. (2011). Modern Chemical Enhanced Oil Recovery. *Elsevier Inc*.
- Sheng, J. (2015). Status of surfactant EOR technology. *Journal of Petroleum*, 1, 97–105.
- Siavashi, M., & Doranehgard, M. H. (2017). Particle Swarm Optimization of Thermal Enhanced Oil Recovery from Oilfields with Temperature Control. *Journal of Applied Thermal Engineering*, 2–36.
- Solairaj, S., Britton, C., Kim, D. H., Weerasooriya, U., & Pope, G. A. (2012): "Measurement and Analysis of Surfactant Retention" paper SPE 154247 presented at The Eighteenth SPE Improved Oil Recovery Symposium in Tulsa, Oklahoma, USA, 14-15 April 2012.

- Sularno, & Anggraini, P. (2017). Penerapan Algoritma C4.5 Untuk Klasifikasi Tingkat Keganasan Hama Pada Tanaman Padi. *Jurnal Sains Dan Informatika*, 161–170.
- Thomas, S. (2007). Enhanced Oil Recovery – An Overview. *Oil & Gas Science and Technology Journal*, 63, 9–19.
- Wang, F. H. . (1993). Effects of Reservoir Anaerobic , Reducing Conditions on Surfactant Retention in Chemical Flooding. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 108–116.
- Yassin, M. R., Arabloo, M., Shokrollahi, A., & Mohammad, A. H. (2013). Prediction of Surfactant Retention in Porous Media : A Robust Modelling Approach. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 1–40.
- Zendeboudi, S., Ahmadi, M. A., Rajabzadeh, A. R., Mahinpey, N., & Chatzis, L. (2013). Experimental Study on Adsorption of A New Surfactant Onto Carbonate Reservoir Samples- Application to EOR. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 91, 1439–1449.